饲料牛磺酸水平对不同生长阶段斜带石斑鱼幼鱼生长性能和体成分的影响[1]

王学习 周铭文 黄 岩 王 琨 叶继丹*

（集美大学水产学院，厦门市饲料检测与安全评价重点实验室，厦门 361021）

摘 要：本试验旨在研究饲料牛磺酸水平对不同生长阶段斜带石斑鱼幼鱼生长性能和体成分的影响。以酪蛋白和明胶为蛋白质源，配制牛磺酸水平分别为 0（D1）、0.5%（D2）、1.0%（D3）和 1.5%（D4）的试验饲料。将初始体重为（13.85±0.25） g 斜带石斑鱼幼鱼随机分为 4 组，每组 4 个水族箱（体积为 120 L），每箱放养 25 尾。试验鱼每天投喂饲料 2 次至表观饱食，养殖周期 84 d，分别在饲喂的第 28、56 和 84 天称重、取样。试验第 1～28 天为第 1 个生长阶段，第 29～56 天为第 2 个生长阶段，第 57～84 天为第 3 个生长阶段。结果表明：在每个生长阶段下，牛磺酸添加组（D2、D3 和 D4 组）试验鱼的增重率、特定生长率、摄食率和饲料效率均显著高于未添加牛磺酸组（D1 组）（$P<0.05$），且 D3 组试验鱼的增重率显著高于其他牛磺酸添加组（第 3 个生长阶段的 D4 组除外）（$P<0.05$）。在同一饲料牛磺酸水平下，第 1 个生长阶段试验鱼的增重率、特定生长率、摄食率和饲料效率均显著高于第 2 个和第 3 个生长阶段（$P<0.05$）。在饲喂至第 28、56 和 84 天时，各牛磺酸添加组试验鱼的肝体比和脏体比均显著低于未添加牛磺酸组（$P<0.05$），肥满度则与未添加牛磺酸组无显著差异（$P>0.05$）。在同一饲料牛磺酸水平下，饲喂至第 56 和 84 天时的肝体比和脏体比均显著低于饲喂至第 28 天时（$P<0.05$）。饲喂 84 d 时，各牛磺酸添加组鱼体的粗蛋白质含量显著高于而粗脂肪含量显著低于未添加牛磺酸组（$P<0.05$）。上述结果表明，饲料中维持一定水平的牛磺酸有利于斜带石斑鱼幼鱼的生长，饲料牛磺酸不足或过多均不利于其生长。饲料中添加牛磺酸降低斜带石斑鱼幼鱼体脂沉积而增加体蛋白质沉积。以增重率为评价指标，通过回归分析得到 3 个生长阶段斜带石斑鱼幼鱼饲料的适宜牛磺酸水平分别为 1.20%（第 1 个生长阶段，体重：13.83~39.09 g）、1.08%（第 2 个生长阶段，体重：39.09~66.88 g）、1.00%（第 3 个生长阶段，体重：66.88~101.03 g）。斜带石斑鱼幼鱼对牛磺酸的需要随鱼龄的增长而下降。

关键词：斜带石斑鱼幼鱼；饲料牛磺酸水平；生长阶段；生长性能；体成分

中图分类号：S963 文献标识码：A 文章编号：

牛磺酸是动物体内不参与蛋白质代谢的含量最多的游离氨基酸，在调节机体生理机能方面具有多种重要的生物学功能[1]。牛磺酸的一个重要功能是在肝脏中与胆酸结合生成胆汁酸，并提高限速酶胆固醇7α-羧化酶的活性，加强胆固醇向胆汁酸转化，促进脂肪的消化与代谢[2]。饲料中蛋白质和脂肪水平一定的情况下，饲料中添加牛磺酸能够提高草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)鱼体的粗蛋白质和粗脂肪含量[3]，但却能降低虹鳟[4]（*Oncorhynchus mykiss*）、大西洋鲑[5](*Salmo salar*)和大菱鲆[6]（*Scophthalmus maximus*）的鱼体粗脂肪含量。本课题组前期的研究也发现，饲料中添加牛磺酸提高了尼罗罗非鱼[7](*Oreochromis niloticus*)而降低了斜带石斑鱼[8]（*Epinephelus coioides*）的鱼体粗脂肪含量，表明牛磺酸与鱼类脂肪代谢存在密切关系。牛磺酸还是一种条件性必需氨基酸。除了猫科等少数几种哺乳动物不能

收稿日期：2016-11-15

基金项目：国家自然科学基金（31372546）；福建省科技重大专项（2016NZ0001-3）

作者简介：王学习（1992—），男，河南鹿邑人，硕士研究生，水产养殖专业。E-mail: 1508498684@qq.com

*通信作者：叶继丹，研究员，硕士生导师，E-mail: yjdwk@sina.com

合成牛磺酸外，大多数脊椎动物具有一定的牛磺酸合成能力，但在幼龄期体内牛磺酸合成量相对不足，满足不了生长发育的需求，需要外源补充[9]。在鱼类中，饲料中添加牛磺酸能够提高大菱鲆[2]和牙鲆[10]（*Paralichthys olivaceus*）的生长性能，当饲料中缺乏牛磺酸时，会抑制军曹鱼[11]（*Rachycentron canadum*）和虹鳟[12]的生长，甚至会导致绿肝综合征的发生[13-14]。

鱼类在不同生长阶段对牛磺酸的需要量不同，如牙鲆仔鱼（体重：2.4 g）对牛磺酸需要量是幼鱼（体重：14.5 g）的3倍[15]，而鱼类在幼鱼期不同阶段对饲料牛磺酸的需要量目前未见研究报道。幼鱼期作为鱼类从仔鱼期到成熟期过渡的重要阶段，也是鱼体器官组织快速成长的阶段，对营养物质的需要也会发生相应变化。因此，本试验配制等氮等脂的不同牛磺酸水平的饲料，设定3个生长阶段（每个阶段养殖期设为28 d），对斜带石斑鱼幼鱼进行为期84 d的饲养试验，通过测定生长性能和体成分来探讨饲料中牛磺酸水平与不同生长阶段斜带石斑鱼生长的关系，以期为牛磺酸在水产饲料中的应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

本试验以酪蛋白和明胶为蛋白质源（不含牛磺酸），以鱼油、大豆油和大豆卵磷脂为脂肪源，以玉米淀粉为糖源，以微晶纤维素为填充剂，配制牛磺酸水平分别为 0(D1)、0.5%（D2）、1.0%（D3）和 1.5%（D4）的试验饲料(表 1)。将酪蛋白、明胶和虾粉用粉碎机粉碎后过 80 目筛网，然后根据饲料配方按比例将所有原料加水混匀，制成粒径为 2.5 mm 的颗粒饲料。

表 1　试验饲料组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets （air-dry basis）　%

原料 Ingredients	饲料 Diets			
	D1	D2	D3	D4
酪蛋白 Casein1)	47.00	47.00	47.00	47.00
明胶 Gelatin2)	8.00	8.00	8.00	8.00
玉米淀粉 Corn starch	24.00	24.00	24.00	24.00
鱼油 Fish oil	3.00	3.00	3.00	3.00
大豆油 Soybean oil	3.00	3.00	3.00	3.00
大豆卵磷脂 Soybean lecithin	3.00	3.00	3.00	3.00
维生素预混料 Vitamin premix3)	0.20	0.20	0.20	0.20
矿物质预混料 Mineral premix4)	0.30	0.30	0.30	0.30
维生素 C Vitamin C	0.02	0.02	0.02	0.02
磷酸二氢钙 $Ca(H_2PO_4)_2$	2.00	2.00	2.00	2.00
氯化胆碱 Choline chloride	0.30	0.30	0.30	0.30
虾粉 Shrimp meal	3.00	3.00	3.00	3.00
微晶纤维素 Microcrystalline cellulose	6.18	5.68	5.18	4.68
牛磺酸 Taurine5)		0.50	1.00	1.50
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels				

干物质 Dry matter	90.81	90.76	90.24	90.21
粗蛋白质 Crude protein	49.55	49.21	49.13	49.56
粗脂肪 Crude lipid	8.78	8.61	8.54	8.71
粗灰分 Ash	2.21	2.54	2.35	2.42
牛磺酸 Taurine	0.10	0.49	0.96	1.47

1) 酪蛋白购自国药集团化学试剂有限公司。Casein was obtained from Sinopharm Chemical Reagent Co., Ltd.

2) 明胶购自国药集团化学试剂有限公司。Gelatin was obtained from Sinopharm Chemical Reagent Co., Ltd.

3) 维生素预混料为每千克饲料提供 Vitamin premix supplied the following per kg of diets：VA 10 mg，VD 10 mg，VK 40 mg，VE 100 mg，VB_1 60 mg，VB_2 70 mg，VB_6 80 mg，VB_{12} 0.4 mg，烟酸 nicotinic acid 200 mg，泛酸钙 calcium pantothenate 200 mg，生物素 biotin 2 mg，肌醇 inositol 500 mg，叶酸 folic acid 8 mg。

4) 矿物质预混料为每千克饲料提供 Mineral premix supplied the following per kg of diets：$FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 497.84 mg，$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 11.8 mg，$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 175.84 mg，$MnSO_4 \cdot 4H_2O$ 121.8 mg，$CoCl_2 \cdot 6H_2O$ 0.18 mg，KIO_3 0.51 mg，Na_2SeO_3 0.33 mg。

5) 牛磺酸购自国药集团化学试剂有限公司，货号为阿拉丁-T103829，纯度为 99%。Taurine was obtained from Sinopharm Chemical Reagent Co.,Ltd., it's item number was Aladdin-T103829 and purity was 99%.

1.2 养殖管理

斜带石斑鱼幼鱼暂养 2 周后，挑选健康无病、大小基本一致的 400 尾试验鱼，随机放入 16 个体积为 120 L 的水族箱中，每个水族箱 25 尾，把水族箱随机分为 4 组，每组 4 个水族箱（重复）。试验用斜带石斑鱼幼鱼的初始体重为（13.85±0.25） g。

每天分别在 08:30 和 18:30 投喂饲料至表观饱食。投喂 0.5 h 后吸去残饵和粪便，日换水量约 100%。在养殖过程中，每天观察和记录试验鱼的摄食和行为，养殖周期 84 d，试验第 1～28 天为第 1 个生长阶段，第 29～56 天为第 2 个生长阶段，第 57～84 天为第 3 个生长阶段。养殖期间水体温度为 24.5~30.8 ℃，溶解氧浓度大于 5.7 mg/L。

1.3 样品采集

分别在试验开始前以及试验第 28、56 和 84 天，将每箱中的试验鱼全部捞出称总重，之后放回各自水族箱稳定 24 h。再从每箱中随机捞取 6 尾试验鱼，用丁香酚麻醉，依次测量每尾鱼的体重、体长，解剖取肝脏和其他内脏，并分别称重。在试验第 84 天时，从各箱中随机捞取 3 尾试验鱼，保存于-20 ℃，用于体成分测定。

1.4 指标测定

1.4.1 常规成分测定

饲料原料、试验饲料和鱼体样品的水分含量采用 105 ℃恒温箱烘干恒重法测定，粗蛋白质含量采用凯氏定氮法（Kjeltec 8400 型凯氏定氮仪）测定，粗脂肪含量采用索氏提取法测定，粗灰分含量采用马弗炉（550 ℃）灼烧法测定。

1.4.2 牛磺酸含量的测定

按周铭文等[7]的方法提取饲料牛磺酸，再用日立 L-8900 型氨基酸自动分析仪测定牛磺酸含量。

1.5 生长性能指标计算公式

生长性能指标的计算公式如下：

增重率（weight gain rate，WGR,%）=100×(W_t-W_0)/W_0；

特定生长率（specific growth rate，SGR，%/d）=100×（lnW_t－lnW_0）/t；

摄食率（feeding rate，FR，%/d）=100×W_f/(W_t/2+W_0/2)/t；

饲料效率（feed efficiency，FE）=(W_t-W_0)/W_f；

肝体比（hepatosomatic index，HSI，%）=100×W_h/W_b；

脏体比（viscerasomatic index，VSI，%）=100×W_v/W_b；

肥满度（condition factor，CF，g/cm^3）=100×W_b/L^3。

式中：W_0 为初始均重（g）；W_t 为终末均重（g）；W_f 为摄食饲料总量（g）；W_b 为样品鱼体重（g）；W_h 为样品鱼肝脏重（g）；W_v 为样品鱼内脏重（g）；L 为样品鱼体长（cm）；t 为投喂天数（d）。

1.6 数据统计与分析

采用 SPSS 17.0 进行单因素方差分析（one-way ANOVA）和双因素方差分析（two-way ANOVA），所有试验数据均以平均值±标准差（mean±SD）表示，若存在显著性差异时，采用 Student-Newmnan-Keuls 法进行多重比较，差异显著性水平为 P<0.05。

2 结果与分析

2.1 饲料牛磺酸水平对不同生长阶段斜带石斑鱼幼鱼生长性能的影响

饲料牛磺酸水平对不同生长阶段斜带石斑鱼幼鱼生长性能影响的结果见表 2 和表 3。由表 2 可知，在每个生长阶段，所有牛磺酸添加组（D2、D3、D4 组）试验鱼的 WGR、FE、SGR 和 FR 均显著高于未添加牛磺酸组（D1 组）（P<0.05）。在每个生长阶段，WGR 均随着饲料牛磺酸水平的升高呈现出先升高后下降的趋势，除第 3 个生长阶段的 D4 组外，D3 组的 WGR 均显著高于同生长阶段的其他牛磺酸添加组组（P<0.05）；除了第 2 个生长阶段中 D3 组的 SGR 显著高于 D4 组（P<0.05）外，第 1 个和第 3 个生长阶段中 D3 组的 SGR、FE 和 FR 与其他牛磺酸添加组差异不显著（P>0.05）。由表 3 可知，在每个饲料牛磺酸水平下，第 2 个和第 3 个生长阶段的 WGR、SGR、FE 和 FR 均显著低于第 1 个生长阶段（P<0.05），且饲料牛磺酸水平和生长阶段以及二者的交互作用对这 4 个指标均有显著的影响（P<0.05）。

表 2　饲料牛磺酸水平对不同生长阶段斜带石斑鱼幼鱼生长性能的影响

Table 2　Effects of dietary taurine level on growth performance of juvenile grouper under different growth periods

生长阶段 Growth periods	组别 Groups	初始均重 IAW/g	终末均重 FAW/g	增重率 WGR%/	特定生长率 SGR/(%/d)	饲料效率 FE	摄食率 FR/(%/d)
第 1 个生长阶段 The 1st growth period	D1	13.85±0.35	36.05±1.45^a	156.74±8.69^a	1.46±0.55^a	0.58±0.11^a	3.91±0.36^a
	D2	13.83±0.26	36.65±2.43^a	165.42±12.31^b	1.51±0.10^b	0.77±0.08^b	4.78±0.26^b
	D3	13.87±0.31	39.09±1.61^b	181.90±11.12^d	1.63±0.07^b	0.70±0.05^b	5.10±0.29^b
	D4	13.85±0.13	38.39±1.15^b	177.04±8.06^c	1.60±0.12^b	0.70±0.10^b	4.65±0.19^b
集合标准误 Pooled SE		0.02	1.24	6.10	0.01	0.01	0.04
P 值 P-value		0.321	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	<0.001
第 2 个生长	D1	36.57±1.94	52.43±5.51^a	43.00±8.08^a	0.61±0.09^a	0.43±0.05^a	3.36±0.11^a

阶段 The	D2	36.05±3.49	57.39±6.51[ab]	59.67±3.86[b]	0.79±0.04[bc]	0.55±0.01[b]	3.50±0.05[b]
2nd growth	D3	38.71±2.28	66.88±8.25[b]	73.68±7.77[c]	0.90±0.07[c]	0.57±0.04[b]	3.58±0.04[b]
period	D4	37.52±1.96	59.16±2.15[ab]	57.34±6.51[b]	0.74±0.10[b]	0.54±0.07[b]	3.51±0.06[b]
集合标准误 Pooled SE		0.08	2.65	3.70	0.02	0.01	0.05
P 值 *P*-value		0.247	0.012	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
第 3 个生长	D1	47.21±7.28[a]	66.56±8.18[a]	40.00±1.64[a]	0.53±0.13[a]	0.32±0.01[a]	1.93±0.01[a]
阶段 The	D2	55.70±5.16[a]	83.86±7.58[b]	53.67±2.71[b]	0.63±0.04[b]	0.46±0.03[b]	2.10±0.05[b]
3rd growth	D3	63.35±4.34[b]	101.03±2.68[c]	59.47±3.03[c]	0.72±0.14[b]	0.51±0.01[b]	2.16±0.07[b]
period	D4	56.47±3.10[a]	88.27±2.92[b]	56.43±4.86[bc]	0.69±0.21[b]	0.46±0.02[b]	2.12±0.09[b]
集合标准误 Pooled SE		0.12	4.12	2.21	0.01	0.01	0.03
P 值 *P*-value		<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001

每个生长阶段（饲养天数）中同列数据肩标不同字母表示差异显著(P<0.05)。表 5 同。

Values with different letter superscripts in the same column of each growth period （feeding day） indicated significant difference (P<0.05). The same as Table 5.

表 3 饲料牛磺酸水平和生长阶段对斜带石斑鱼幼鱼生长性能的影响

Table 3 Effects of dietary taurine level and growth period on growth performance of juvenile grouper

饲料牛磺酸水平 Dietary taurine levels/%	生长阶段 Growth periods	增重率 WGR/%	特定生长率 SGR/(%/d)	饲料效率 FE	摄食率 FR/(%/d)
0	第 1 个生长阶段 The 1st growth period	156.74±8.69[e]	1.46±0.55[cd]	0.58±0.11[bcd]	3.91±0.36[d]
	第 2 个生长阶段 The 2nd growth period	43.00±8.08[a]	0.61±0.09[a]	0.43±0.05[b]	3.36±0.11[c]
	第 3 个生长阶段 The 3rd growth period	40.00±1.64[a]	0.53±0.13[a]	0.32±0.01[a]	1.93±0.01[a]
0.5	第 1 个生长阶段 The 1st growth period	165.42±12.31[ef]	1.51±0.10[d]	0.77±0.08[d]	4.78±0.26[e]
	第 2 个生长阶段 The 2nd growth period	59.67±3.86[c]	0.79±0.04[bc]	0.55±0.01[c]	3.50±0.05[cd]
	第 3 个生长阶	53.67±2.71[b]	0.63±0.04[a]	0.46±0.03[b]	2.10±0.05[b]

	段 The 3rd growth period				
1.0	第 1 个生长阶段 The 1st growth period	181.90±11.12^{f}	1.63±0.07^{d}	0.70±0.05^{d}	5.10±0.29^{e}
	第 2 个生长阶段 The 2nd growth period	73.68±7.77^{d}	0.90±0.07^{bc}	0.57±0.04^{c}	3.58±0.04^{cd}
	第 3 个生长阶段 The 3rd growth period	59.47±3.03^{c}	0.72±0.14^{abc}	0.46±0.03^{b}	2.16±0.07^{b}
1.5	第 1 个生长阶段 The 1st growth period	177.04±8.06^{ef}	1.60±0.12^{d}	0.70±0.10^{cd}	4.65±0.19^{e}
	第 2 个生长阶段 The 2nd growth period	57.34±6.51^{bc}	0.74±0.10^{ab}	0.54±0.07^{bc}	3.51±0.06^{cd}
	第 3 个生长阶段 The 3rd growth period	56.43±4.86^{bc}	0.69±0.21^{abc}	0.46±0.02^{b}	2.12±0.09^{b}
集合标准误 Pooled SE		6.55	0.13	0.05	0.14
P 值 *P*-value					
饲料牛磺酸水平 Dietary taurine level		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
生长阶段 Growth period		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
饲料牛磺酸水平×生长阶段 Dietary taurine level×growth period		<0.001	<0.001	0.002	<0.001

同列数据肩标不同字母表示差异显著($P<0.05$)。表 6 和表 7 同。

Values with different letter superscripts in the same column indicated significant difference ($P<0.05$). The same as Table 6 and Table 7.

为了解不同生长阶段斜带石斑鱼幼鱼对饲料牛磺酸的需求差异，以 WGR 为评价指标，建立了 3 个生长阶段下斜带石斑鱼幼鱼的 WGR 与饲料牛磺酸水平的回归方程（表 4）。由表 4 可知，3 个生长阶段下斜带石斑鱼幼鱼饲料牛磺酸的适宜水平分别是 1.20%（第 1 个生长阶段，体重：13.83~39.09 g）、1.08%（第 2 个生长阶段，体重：39.09~66.88 g）、1.00%（第 3 个生长阶段，体重：66.88~101.03 g）。由此可见，斜带石斑鱼幼鱼对饲料牛磺酸的需要量与鱼龄密切相关，鱼龄越大，需要的饲料牛磺酸水平越低。

表 4　饲料牛磺酸水平（X）与不同生长阶段下斜带石斑鱼幼鱼的增重率（Y）的关系

Table 4　Relationships between dietary taurine level (X) and WGR (Y) of juvenile grouper at different growth periods

生长阶段 Growth periods	回归方程 Regressive equations	R^2	P 值 P-value	需要量 Requirement/%
第 1 生长阶段 The 1st growth period	Y=-20.19X^2+48.43X+150.54	0.918	<0.001	1.20
第 2 生长阶段 The 2nd growth period	Y=-35.78X^2+77.29X+34.41	0.953	<0.001	1.08
第 3 生长阶段 The 3rd growth period	Y=-40.30X^2+80.82X+57.49	0.959	0.001	1.00

2.2　饲料牛磺酸水平对不同饲喂天数斜带石斑鱼幼鱼形态学指标的影响

以饲喂天数和饲料牛磺酸水平作为试验因子，对斜带石斑鱼幼鱼的形态学指标进行方差分析，结果见表 5 和表 6。由表 5 可知，在饲喂至第 28、56 和 84 天时，各牛磺酸添加组试验鱼的 HSI 和 VSI 均显著低于未添加牛磺酸组（P<0.05），CF 则与未添加牛磺酸组无显著差异（P>0.05）。各牛磺酸添加组的 HSI、VSI、CF 均无显著差异（P>0.05）。由表 6 可知，在每个饲料牛磺酸水平下，饲喂至第 56 和 84 天时的 HSI 和 VSI 均显著低于饲喂至第 28 天时（P<0.05）。饲料牛磺酸水平与饲喂天数及二者的交互作用对 HSI 和 VSI 均存在显著的影响（P<0.05），但 CF 只受饲喂天数的显著影响（P<0.05）。

表 5　饲料牛磺酸水平对不同饲喂天数斜带石斑鱼幼鱼形态学指标的影响

Table 5　Effects of dietary taurine level on morphological indices of juvenile grouper at different feeding days

饲养天数 Feeding days/d	组别 Groups	肝体比 HSI/%	脏体比 VSI/%	肥满度 CF/(g/cm^3)
28	D1	3.19±0.31^a	9.05±0.42^a	1.47±0.73
	D2	2.25±0.20^b	7.87±0.57^b	1.46±0.04
	D3	2.24±0.45^b	7.64±0.56^b	1.46±0.02
	D4	2.09±0.33^b	7.49±0.56^b	1.48±0.04
集合标准误 Pooled SE		0.11	0.32	0.01
P 值 P-value		<0.001	<0.001	0.123
56	D1	2.65±0.21^a	7.88±0.30^a	2.68±0.12
	D2	1.93±0.23^b	6.90±0.34^b	2.65±0.15
	D3	1.65±0.13^b	6.86±0.23^b	2.67±0.13
	D4	1.75±0.13^b	6.49±0.28^b	2.65±0.20
集合标准误 Pooled SE		0.07	0.24	0.02
P 值 P-value		<0.001	<0.001	0.243

84	D1	2.20±0.44^{a}	7.28±0.60^{a}	2.26±0.32
	D2	1.34±0.17^{b}	5.92±0.11^{b}	2.24±0.15
	D3	1.34±0.12^{b}	6.19±0.20^{b}	2.25±0.44
	D4	1.58±0.18^{b}	6.12±0.36^{b}	2.24±0.16
集合标准误 Pooled SE		0.02	0.26	0.04
P 值 *P*-value		<0.001	<0.001	0.541

表 6 饲料牛磺酸水平和饲喂天数对斜带石斑鱼幼鱼形态学指标的影响

Table 6 Effects of dietary taurine level and feeding day on morphological indices of juvenile grouper

饲料牛磺酸水平 Dietary taurine levels/%	饲喂天数 Feeding days/d	肝体比 HSI/%	脏体比 VSI/%	肥满度 CF/(g/cm^3)
0	28	3.19±0.31^{f}	9.05±0.42^{e}	1.47±0.73^{ab}
	56	2.65±0.21^{e}	7.88±0.30^{d}	2.68±0.12^{c}
	84	2.20±0.44^{bcde}	7.28±0.60^{bcd}	2.26±0.32^{bc}
0.5	28	2.25±0.20^{de}	7.87±0.57^{d}	1.46±0.04^{a}
	56	1.93±0.23^{bcd}	6.90±0.34^{bc}	2.65±0.15^{c}
	84	1.34±0.17^{a}	5.92±0.11^{a}	2.24±0.15^{b}
1.0	28	2.24±0.45^{de}	7.64±0.56^{cd}	1.46±0.02^{a}
	56	1.65±0.13^{bc}	6.86±0.23^{bc}	2.67±0.13^{c}
	84	1.34±0.12^{a}	6.19±0.20^{ab}	2.25±0.44^{bc}
1.5	28	2.09±0.33^{cd}	7.49±0.56^{cd}	1.48±0.04^{a}
	56	1.75±0.13^{bcd}	6.49±0.28^{b}	2.65±0.20^{c}
	84	1.58±0.18^{ab}	6.12±0.36^{ab}	2.24±0.16^{b}
集合标准误 Pooled SE		0.24	0.37	0.21
P 值 *P*-value				
饲料牛磺酸水平 Dietary taurine level		<0.001	<0.001	0.156
饲喂天数 Feeding days		<0.001	<0.001	<0.001
饲料牛磺酸水平×饲喂天数 Dietary taurine level×feeding day		<0.001	<0.001	0.468

2.3 饲料牛磺酸水平对饲喂 84 d 时斜带石斑鱼幼鱼体成分的影响

本试验测定了试验期末各组斜带石斑鱼幼鱼的体成分，结果见表 7。与未添加牛磺酸组相比，各牛磺酸添加组鱼体粗蛋白质含量显著升高（*P*<0.05），粗脂肪含量显著降低（*P*<0.05），但各牛磺酸添加组间的鱼体粗蛋白质和粗脂肪含量差异不显著（*P*>0.05）；各组间鱼体水分和粗灰分含量均没有显著差异（*P*>0.05）。

表 7 饲料牛磺酸水平对饲喂 84 d 时斜带石斑鱼幼鱼体成分的影响

Table 7 Effects of dietary taurine level on body composition of juvenile grouper after feeding 84 days

组别 Groups	水分 Moisture	粗蛋白质 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	粗灰分 Ash
D1	69.73±0.68	17.02±0.61^{a}	6.98±0.62^{b}	4.87±0.03
D2	69.71±0.46	17.88±0.15^{b}	6.69±0.06^{a}	4.90±0.16
D3	69.56±0.98	17.99±0.29^{b}	6.56±0.16^{a}	4.85±0.18
D4	69.53±0.19	17.96±0.03^{b}	6.66±0.28^{a}	4.93±0.31
集合标准误 Pooled SE	0.15	0.07	0.06	0.02
P 值 *P*-value	0.921	<0.001	0.009	0.452

3 讨 论

大量研究表明，饲料中牛磺酸对鱼类具有明显的促进生长作用[3,10]。在本试验中，饲料牛磺酸缺乏

时，斜带石斑鱼表现出较差的生长性能，这与在牙鲆[15-16]、五条鰤[17](*Seriola Quinqueradiata*)、真鲷[18]（*Pagrus major*）和草鱼[3]上所得试验结果一致。饲料牛磺酸水平对斜带石斑鱼生长性能的影响在 3 个生长阶段具有一致的表现，都是随着饲料牛磺酸水平的升高，WGR 呈先升高后下降的趋势（表 2），这与在虹鳟[19]和大菱鲆[20]上所得试验结果相一致，可能是因为斜带石斑鱼在幼鱼期具有较强的牛磺酸合成能力[21]，同时牛磺酸添加过多可能引起饲料适口性下降，相应地降低摄食量[22-23]，最终导致生长速度下降。本试验以 28 d 为 1 个生长阶段，连续测定了 3 个生长阶段斜带石斑鱼幼鱼的生长性能，从生长性能结果可见，第 1 个生长阶段的生长速度快于第 2 个生长阶段，第 2 个生长阶段的生长速度快于第 3 个生长阶段（表 3），说明鱼龄越小生长速度越快，这与鱼类生长发育规律相符。以 WGR 为评价指标，回归分析得到 3 个生长阶段斜带石斑鱼幼鱼饲料的适宜牛磺酸水平分别为 1.20%（第 1 个生长阶段，体重：18.83~39.09 g）、1.08%（第 2 个生长阶段，体重：39.09~66.88 g）、1.00%（第 3 个生长阶段，体重：66.88~101.03 g）（表 4）。由此可见，斜带石斑鱼幼鱼对牛磺酸的需要量也是随着鱼龄的增加而下降，说明动物越接近成年，生长代谢就越趋于稳定，对营养物质的需要量就相对下降。尽管本试验中斜带石斑鱼幼鱼从第 1 个生长阶段到第 3 个生长阶段的生长速度逐渐下降，但 3 个生长阶段仍是斜带石斑鱼养殖过程中的较快生长期。

牛磺酸对鱼类具有诱食作用[23]。研究已经证实牛磺酸对多种鱼类的摄食具有良好的促进作用[19-20,24-29]。本试验表明，在每个生长阶段下，各牛磺酸添加组斜带石斑鱼幼鱼的 FR 均显著高于未添加牛磺酸组，且在饲料牛磺酸水平为 1.0%时达到最高，说明饲料中一定水平的牛磺酸对斜带石斑鱼幼鱼也有较强的诱食性（表 2）。在本试验中，未添加牛磺酸组斜带石斑鱼幼鱼的 FR 和 FE 明显低于各牛磺酸添加组，且在饲料牛磺酸水平从 0.5%升高至 1.5%时 FR 和 FE 没有进一步的增加，说明饲料中缺乏牛磺酸会影响鱼的摄食并降低营养物质利用[30]；在不考虑饲料牛磺酸水平的情况下，斜带石斑鱼幼鱼的 FR 和 FE 在 3 个生长阶段是逐渐降低的，这也是其在 3 个生长阶段 WGR 逐渐下降的原因之一。

研究表明，牛磺酸可促进脂肪的消化、吸收和代谢[31]。本试验结果显示，各牛磺酸添加组鱼体的粗脂肪含量显著低于未添加牛磺酸组（表7），这与在虹鳟[4]、大菱鲆[6]和大西洋鲑[5]中的研究结果一致，但与在草鱼[3]、罗非鱼[7-8]中的研究结果相反。研究发现，饲料中添加牛磺酸提高了鹌鹑[32]和肉仔鸡[33]肝脏中肝脂酶和脂蛋白脂酶的活性以及降低了肝脏中甘油三酯的含量。本试验虽未测定斜带石斑鱼幼鱼肝脏中相关脂类代谢关键酶的活性，但是本试验结果表明，在不考虑饲喂天数的情况下饲料添加牛磺酸显著降低了斜带石斑鱼幼鱼的HSI和VSI（表5），这个结果提示牛磺酸降低了鱼体肝脏和其他内脏中脂肪的沉积，而脏器组织脂肪沉积的减少应该是鱼体粗脂肪含量下降的直接原因。本试验中，饲料添加牛磺酸显著提高了鱼体的粗蛋白质含量，说明牛磺酸能够促进斜带石斑鱼幼鱼体蛋白质的沉积，与文献报道的饲料中添加牛磺酸可提高塞内加尔鳎[34]（*Solea senegalensis*）、草鱼[3]和细点牙鲷（*Dentex dentex*）[35]体蛋白质沉积的结果一致，这可能与牛磺酸促进体蛋白质合成相关激素的分泌有关[36]。在不考虑饲料牛磺酸水平的情况下，饲喂至第28天时的HSI和VSI均显著高于饲喂至第56和84天时，但后两者间的差异则不显著，这说明斜带石斑鱼幼鱼在经历了一个较为快速的生长发育阶段后，鱼体器官组织发育接近成体，生长发育随之进入一个相对稳定的状态。

4 结　论

① 饲料中维持一定水平的牛磺酸有利于斜带石斑鱼幼鱼的生长，饲料牛磺酸不足或过多都不利于其生长。饲料中添加牛磺酸降低斜带石斑鱼幼鱼体脂沉积而增加体蛋白质沉积。

② 以 WGR 为评价指标，经回归分析得到 3 个生长阶段斜带石斑鱼幼鱼饲料适宜的牛磺酸水平分别为 1.20%（第 1 个生长阶段，体重：18.83~39.09 g）、1.08%（第 2 个生长阶段，体重：39.09~66.88 g）、1.00%（第 3 个生长阶段，体重：66.88~101.03 g），表明，斜带石斑鱼在在幼鱼期的不同生长阶段对牛磺酸的需求有所差异，且随鱼龄的增长而逐渐降低。

参考文献：

[1] HUXTABLE R J.Physiological actions of Taurine[J].Physiological Reviews,1992,72(1):101–163.

[2] YUN B,AI Q H,MAI K S,et al.Synergistic effects of dietary cholesterol and taurine on growth performance and cholesterol metabolism in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) fed high plant protein diets[J].Aquaculture,2012,324-325:85–91.

[3] 罗莉,文华,王琳,等.牛磺酸对草鱼生长、品质、消化酶和代谢酶活性的影响[J].动物营养学报,2006,18(3):166–171.

[4] 徐奇友,许红,郑秋珊,等.牛磺酸对虹鳟仔鱼生长、体成分和免疫指标的影响[J].动物营养学报,2007,19(5):544–548.

[5] ESPE M,RUOHONEN K,EL-MOWAFI A.Effect of taurine supplementation on the metabolism and body lipid-to-protein ratio in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*)[J].Aquaculture Research,2012,43(3):349–360.

[6] 贠彪.在高植物蛋白饲料中添加胆固醇、牛磺酸和大豆皂甙对大菱鲆生长性能和胆固醇代谢的影响[D].博士学位论文.青岛:中国海洋大学,2012.

[7] 周铭文,王和伟,叶继丹.饲料牛磺酸对尼罗罗非鱼生长、体成分及组织游离氨基酸含量的影响[J].水产学报,2015,39(2):213–223.

[8] 王和伟.饲料牛磺酸水平对吉富罗非鱼和斜带石斑鱼生长的影响[D].硕士学位论文.厦门:集美大学,2013.

[9] CHO K H,KIM E S,CHOUE R,et al.Insufficient taurine in enteral nutrition for patients[J].Nutrition Research,2006,26(9):450-453.

[10] KIM S K,MATSUNARI H,TAKEUCHI T,et al.Effect of different dietary taurine levels on the conjugated bile acid composition and growth performance of juvenile and fingerling Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*[J].Aquaculture,2007,273(4):595–601.

[11] LUNGER A N,MCLEAN E,GAYLORD T G,et al.Taurine supplementation to alternative dietary proteins used in fish meal replacement enhances growth of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*)[J].Aquaculture,2007,271(1/2/3/4):401–410.

[12] GÜRER H,ÖZGÜNES H,SAYGIN E,et al.Antioxidant effect of taurine against lead-induced oxidative stress[J].Archives of Environmental Contamination and Toxicology,2001,41(4):397–402.

[13] 肖世平,傅伟龙,江青艳.饲粮中添加牛磺酸对黄鸡性腺发育及其内分泌的影响[J].华南农业大学学报,1997,18(2):94–99.

[14] TAKAGI S,MURATA H,GOTO T,et al.Necessity of dietary taurine supplementation for preventing

green liver symptom and improving growth performance in yearling red sea bream *Pagrus major* fed nonfishmeal diets based on soy protein concentrate[J].Fisheries Science,2010,76(1):119–130.

[15] KIM S K,MATSUNARI H,TAKEUCHI T,et al.Comparison of taurine biosynthesis ability between juveniles of Japanese flounder and common carp[J].Amino Acids,2008,35(1):161–168.

[16] KIM S K,TAKEUCHI T,YOKOYAMA M,et al.Effect of dietary supplementation with taurine,β-alanine andGABA on the growth of juvenile and fingerling Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*[J].Fisheries Science,2003,69(2):242–248.

[17] MATSUNARI H,TAKEUCHI T,TAKAHASHI M,et al.Effect of Dietary taurine supplementation on growth performance of yellowtail juveniles *Seriola quinqueradiata*[J].Fisheries Science,2005,71(5):1131–1135.

[18] TAKAGI S,MURATA H,GOTO T,et al.Efficacy of taurine supplementation for preventing green liver syndrome and improving growth performance in yearling red sea bream *Pagrus major* fed low-fishmeal diet[J].Fisheries Science,2006,72(6):1191–1199.

[19] GAYLORD T G,TEAGUE A M,BARROWS F T.Taurine supplementation of all-plant protein diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J].Journal of the World Aquaculture Society,2006,37(4):509–517.

[20] QI G S,AI Q H,MAI K S,et al.Effects of dietary taurine supplementation to a casein-based diet on growth performance and taurine distribution in two sizes of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.)[J].Aquaculture,2012,358–359:122–128.

[21] GOTO T,TAKAGI S,ICHIKI T,et al.Studies on the green liver in cultured red sea bream fed low level and non-fish meal diets:relationship between hepatic taurine and biliverdin levels[J].Fisheries Science,2001,67(1):58–63.

[22] TAKAOKA O,TAKII K,NAKAMURA M,et al.Identification of feeding stimulants for marbled rockfish[J].Nippon Suisan Gakkaishi,1990,56:345–351.

[23] CARR W E S.Chemical stimulation of feeding behaviour[M]//HARA T J.Chemoreception in fishes.Amsterdam:Elsevier,1982:259–273.

[24] FUZESSERY Z M,CARR W E S,ACHE B W.Antennular chemosensitivity in the spiny lobster,*Panulirus argus*:studies of taurine sensitive receptors[J].The Biological Bulletin,1978,154(2):226–240.

[25] KIM S K,TAKEUCHI T,YOKOYAMA M,et al.Effect of dietary taurine levels on growth and feeding behavior of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*[J].Aquaculture,2005,250(3/4):765–774.

[26] MATSUNARI H,FURUITA H,YAMAMOTO T,et al.Effect of dietary taurine and cystine on growth performance of juvenile red sea bream *Pagrus major*[J].Aquaculture,2008,274(1):142–147.

[27] MARTINEZ J B,CHATZIFOTIS S,DIVANACH P,et al.Effect of dietary taurine supplementation on growth performance and feed selection of sea bass *Dicentrarchus labrax* fry fed with demand-feeders[J].Fisheries Science,2004,70(1):74–79.

[28] TAKAGI S,MURATA H,GOTO T,et al.Taurine is an essential nutrient for yellowtail *Seriola quinqueradiata* fed non-fish meal diets based on soy protein concentrate[J].Aquaculture,2008,280(1/2/3/4):198–205.

[29] 邱小琮,赵红雪,魏智清.牛磺酸对鲤鱼诱食活性的初步研究[J].河北渔业,2006(8):10–11,21.

[30] GARBUTT J T,LACK L,TYOR M P.The enterohepatic circulation of bile salts in gastrointestinal disorders[J].The American Journal of Medicine,1971,51(5):627–636.

[31] RUSSELL D W.The enzymes,regulation,and genetics of bile acid synthesis[J].Annual Review of Biochemistry,2003,72(1):137–174.

[32] 王芙蓉.牛磺酸对鹌鹑生产性能、免疫功能及脂肪代谢影响的研究[D].博士学位论文.无锡:江南大学,2010.

[33] ZENG D S,GAO Z H,HUANG X L,et al.Effect of taurine on lipid metabolism of broilers[J].Journal of Applied Animal Research,2012,40(2):86–89.

[34] PINTO W,FIGUEIRA L,RIBEIRO L,et al.Dietary taurine supplementation enhances metamorphosis and growth potential of *Solea senegalensis* larvae[J].Aquaculture,2010,309(1/2/3/4):159–164.

[35] CHATZIFOTIS S,POLEMITOU I,DIVANACH P,et al.Effect of dietary taurine supplementation on growth performance and bile salt activated lipase activity of common dentex,*Dentex dentex*,fed a fish meal/soy protein concentrate-based diet[J].Aquaculture,2008,275(1/2/3/4):201–208.

[36] 邱小琮,赵红雪.牛磺酸对鲤生长及血清 T_3、T_4 含量的影响[J].淡水渔业,2006,36(1):22–24.

Effects of Dietary Taurine Level on Growth Performance and Body Composition of Juvenile Grouper (*Epinephelus coioides*) at Different Growth Periods

WANG Xuexi　ZHOU Mingwen　HUANG Yan　WANG Kun　YE Jidan*

(*Xiamen Key Laboratory for Feed Quality Testing and Safety Evaluation*, *Fisheries College of Jimei University*, *Xiamen* 361021, *China*)

Abstract: A feeding trial was conducted to investigate the effects of dietary taurine level on growth performance and body composition of juvenile grouper (*Epinephelus coioides*) at different growth periods. Four experimental diets were formulated to contain 0 (D1), 0.5% (D2), 1.0% (D3) and 1.5% (D4) taurine based on casein and gelatin as protein sources. Juvenile grouper with the initial body weight of (13.85±0.25) g were allocated to 4 groups and each group had 4 aquariums (the volume of 120 L) at a stock density of 25 fish per aquarium. The fish were fed to satiation twice daily over a 84-day feeding period, which was divided into three sub-periods: day 1 to 28 (the 1st growth period), day 29 to 56 (the 2nd growth period) and day 57 to 84 (the 3rd growth period). Fish were weighted and sampled on day 28, 56 and 84, respectively. The results showed as follows: the weight gain ratio (WGR), specific growth rate (SGR), feeding rate (FR) and feed efficiency (FE) of fish in taurine groups（D2, D3 and D4 groups） were significantly higher than those of fish in non-taurine group (D1 group) at each growth period (P<0.05), and the fish in D3 group had significantly higher WGR compared with other groups expect D4 group at the 3rd growth period (P<0.05). Moreover, the WGR, SGR, FR and FE of fish at the 1st growth period were significantly higher than those of fish at the 2nd and 3rd growth periods at the same dietary taurine level (P<0.05). When feeding on day 28, 56 and 84, the hepatosomatic index (HSI) and viscerasomatic index (VSI) of fish in taurine groups were significantly lower than those of fish in non-taurine group (P<0.05), but no significant difference was found in condition factor

*Corresponding author, professor, E-mail: yjdwk@sina.com　　(责任编辑　菅景颖)

(CF) compared with non-taurine group ($P>0.05$). However, significantly lower HSI and VSI of fish were observed on day 56 and 84 compared witho on day 28 at the same dietary taurine level ($P<0.$ 05). The whole-body crude protein content was significantly higher, but crude lipid content was significantly lower of fish fed taurine-containing diets than those of fish fed non-taurine diet on day 84 ($P<0.05$). The above results indicate that appropriate dietary taurine level will be beneficial to the growth of juvenile grouper, and excess or deficient taurine supplementation will have the opposite effect. Addition of taurine in diets can reduce the lipid deposition but elevate protein deposition of juvenile grouper body at the same time. The appropriate dietary levels calculated base on WGR as the evaluation index at three growth periods are 1.20% (the 1st growth period, body weight: 13.83 to 39. 09 g), 1. 08% (the 2nd growth period, body weight: 39.09 to 66.88 g) and 1.00% (the 3rd growth period, body weight: 66.88 to 101.03 g), respectively, and this result indicates that the requirement of taurine will decline with fish age.

Key words: juvenile grouper (*Epinephelus coioides*); dietary taurine level; growth period; growth performance; body composition